

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Pneumatický lis s možností nastavení síly
Pneumatic Press with Adjustable Workforce

Student:

Jaroslav Kovář

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Miloslav Žáček

Ostrava 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

plné jméno studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji závěrečnou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití školního díla a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo závěrečnou práci nevýdělečně užít ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO v případě zájmu její strany, uzavřu licenční smlouvu, s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....
plné jméno studenta

Adresa trvalého pobytu studenta:

Jaroslav Kovář
Zborovská 4180/13
Kroměříž 767 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KOVÁŘ, J. Pneumatický lis s možností nastavení síly. Ostrava: Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 45 s. Bakalářská práce, vedoucí: Žáček. M.

Bakalářská práce se zabývá návrhy konstrukce lisu a jeho pneumatického ovládání. Jsou zde uvedeny základní pevnostní výpočty zvolené varianty řešení. Další části jsou věnovány návrhům pneumatického obvodu. Jsou zpracovány dvě varianty řešení, včetně pneumatického schéma a specifikace použitých prvků. Následují výpočty tlaků pro nastavení lisu a kontrolu přesnosti lisování. V závěru práce uvádím technický popis zařízení, pokyny pro provoz a údržbu zařízení a bezpečnou práci s lisem.

ANNOTATION OF THESIS

KOVÁŘ, J. Pneumatic Press with Adjustable Workforce. Ostrava: Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 45 s. bachelor's thesis, head: Žáček, M.

This bachelor's thesis is focused on proposals of the press construction and its pneumatic control. There are described basic strength sums of the chosen variation of the solution. Other parts of the thesis are aimed at the proposals of a pneumatic circuit. There are displayed two variations, including a pneumatic schema and specifications of used elements. The sums of pressures for the setting press and for control pressing precise. In conclusion I present the technical description of the installation, directions of use and maintenance and health and safety work with press.

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Miloslavu Žáčkovi za laskavou pomoc a cenné připomínky, podněty a rady při tvorbě této bakalářské práce.

Poděkování právem patří i mé rodině za trpělivost a vytvoření optimálních studijních podmínek.

Obsah bakalářské práce

| | |
|--|----|
| OBSAH..... | 5 |
| SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ A ZKRATEK | 6 |
| 1 TEORETICKÝ ÚVOD | 8 |
| 1.1 VÝVOJ PNEUMATICKÝCH MECHANISMŮ..... | 8 |
| 1.2 PNEUMATICKÉ MECHANISMY A JEJICH VYUŽITÍ | 9 |
| 1.3 VÝHODY A NEVÝHODY | 9 |
| 2 STRUKTURA PNEUMATICKÉHO MECHANISMU | 10 |
| 2.1 ÚPRAVA STLAČENÉHO VZDUCHU | 10 |
| 2.2 ROZVADĚČOVÝ TERMINÁL..... | 10 |
| 2.3 POHONY A ŘÍZENÍ..... | 11 |
| 3 MOŽNOSTI OVLÁDÁNÍ MECHANISMU..... | 11 |
| 4 ROZVAHA ALTERNATIVNÍCH ZPŮSOBŮ ŘEŠENÍ LISU | 13 |
| 4.1 TYP SLOUPOVÝ | 13 |
| 4.2 RÁM LISU TVARU C | 13 |
| 4.3 SLOUPOVÝ RÁM | 14 |
| 4.4 HLINÍKOVÉ PROFILY | 15 |
| 5 POPIS A ZDŮVODNĚNÍ ZVOLENÉHO ŘEŠENÍ | 16 |
| 6 KONSTRUKCE A PEVNOSTNÍ VÝPOČTY RÁMU | 17 |
| 6.1 DIMENZOVÁNÍ VRCHNÍ DESKY RÁMU LISU..... | 17 |
| 6.2 NÁVRH SLOUPOVÉHO VEDENÍ..... | 18 |
| 6.3 KONTROLA ŠROUBOVÉHO SPOJENÍ PNEUMOMOTORU | 19 |
| 7 NÁVRH PNEUMATICKÉHO OBVODU | 21 |
| 7.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY | 21 |
| 7.2 NÁVRH OBVODU S TLAKOVÝM SPÍNAČEM - VARIANTA 1 | 21 |
| 7.3 NÁVRH OBVODU - VARIANTA 2..... | 26 |
| 8 CHARAKTERISTIKA PNEUMATICKÝCH PRVKŮ | 29 |
| 8.1 VÝPOČET PARAMETRŮ PŘÍMOČARÉHO PNEUMOMOTORU 1.0 | 29 |
| 8.2 SPOTŘEBA VZDUCHU PŘÍMOČARÉHO PNEUMOMOTORU 1.0..... | 31 |
| 8.3 DVOURUČNÍ OVLÁDÁNÍ..... | 32 |
| 8.4 ÚPRAVA STLAČENÉHO VZDUCHU..... | 33 |
| 8.5 ROZVADĚČE A VENTILY | 34 |
| 8.6 HADICE A ŠROUBENÍ..... | 35 |
| 9 PŘESNOST NASTAVENÍ SÍLY | 37 |
| 10 TECHNICKÝ POPIS PNEUMATICKÉHO ZAŘÍZENÍ..... | 39 |
| 11 POKYNY PRO PROVOZ A ÚDRŽBU ZAŘÍZENÍ..... | 40 |
| 11.1 MONTÁŽ A UVEDENÍ ZAŘÍZENÍ DO PROVOZU..... | 40 |
| 11.2 ÚDRŽBA PNEUMATICKÉHO OBVODU | 41 |
| 12 BEZPEČNOST PŘI PRÁCI S LISY | 42 |
| 13 ZÁVĚR..... | 43 |
| 14 SEZNAM PŘÍLOH..... | 44 |
| 15 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 45 |

Seznam použitého značení a zkratk

| Značka | Název | Rozměr |
|-------------------|--|----------------------------------|
| A | plocha pístu (strana pístnice) | m^2 |
| A' | plocha pístu (strana pístu) | m^2 |
| A _S | skutečný průřez šroubu | m^2 |
| A _{Smin} | min. jmenovitý průřez šroubu | m^2 |
| B | šířka desky | m |
| C | výška pouzdra | m |
| D | průměr pístu | m |
| D ₂ | vnější průměr pouzdra | m |
| E | modul pružnosti v tahu | MPa |
| F _i | zatěžovací síla pneumomotorem | N |
| F _{MAX} | maximální lisovací síla | N |
| F _o | síla v ose jednoho šroubu | N |
| F _{SK} | skutečná síla pneumomotoru | N |
| F _W | průměr otvoru pro ryč v pouzdru | m |
| H | síla desky | m |
| J _{ZT} | plošná charakteristika průřezu desky | m^4 |
| L | šířka pouzdra | m |
| M _{MAX} | maximální ohybový moment | Nm |
| P | rozteč závitů | m |
| Q _N | okamžitá spotřeba vzduchu za normálních podmínek | $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ |
| R _e | mez kluzu | MPa |
| V _C | objem vzduchu jednoho cyklu | m^3 |
| V _{Nc} | objem vzduchu jednoho cyklu, normální stav | m^3 |
| W _o | modul odporu průřezu při ohybu | m^3 |
| d | průměr pístní tyče | m |
| d ₂ | střední průměr závitu | m |
| d ₃ | malý průměr závitu | m |
| d _t | vnitřní průměr vedení | m |
| h | zdvih pneumomotoru | m |

| | | |
|----------------|--|------------------|
| l | vzdálenost os vodicích tyčí | m |
| p_1 | přetlak | MPa |
| p_{1abs} | absolutní tlak | MPa |
| p_{bar} | výstupní tlak (barometrický) | MPa |
| v_t | rychlost vzduchu v přívodním vedení | $m \cdot s^{-1}$ |
| w | průhyb desky | m |
| σ_D | dovolené napětí v tahu šroubu | MPa |
| σ_{Dn} | dovolené napětí v tahu desky | MPa |
| σ_{max} | maximální dovolené napětí v tahu desky | MPa |

| Zkratka | Popis zkratky |
|----------------|------------------------------------|
| pneu. | pneumatický |
| tlak. | tlakový |
| AS | Automation Studio |
| SV | stlačený vzduch |
| JS | jmenovitá světlost |
| NC | normally closed (v klidu uzavřený) |
| NO | normally open (v klidu otevřený) |

1 Teoretický úvod

1.1 Vývoj *pneumatických mechanismů*

Pneumatické mechanismy tvoří spolu s hydraulickými mechanismy kategorii tekutinových mechanismů. Jejich úloha se v závislosti na vývoji koncepcí struktur strojů, jejich parametrech, ale i v závislosti na vývoji vlastních tekutinových prvků mění. Počáteční období využívání hydraulických mechanismů je spojeno především s konstrukcemi hydraulických lisů. Pneumatické mechanismy mají poněkud kratší historii a jejich významnější rozvoj lze pozorovat až v 60. letech, vyvolaný zájmem o automatizaci výrobních zařízení, což vedlo k bouřlivému vývoji všech pneumatických prvků.

Prvky pneumatických mechanismů vždy přitahovaly pozornost svými výjimečnými vlastnostmi, a to především konstrukční a technologickou jednoduchostí, jejímž důsledkem je vysoká provozní spolehlivost a nenáročnost na údržbu. Výhodnou vlastností pneumatických mechanismů je rovněž jednoduchá realizace přímočarých pohybů a to i s velkými pohybovými rychlostmi a možnost přetížení motoru až do zastavení, aniž by byl poškozen. [1]

Významnou předností v mnoha aplikacích je jednoduchost rozvodu pracovního média bez nutnosti vracet jej z motoru do zásobníku a možnost provozu v prostředích s nebezpečím vznícení, nebo výbuchu. Mezi nevýhody patří problémy s nastavováním menších rychlostí pohybu s vyššími nároky na rovnoměrnost pohybu, omezené možnosti nastavování polohy zastavení motoru, dosti nízká úroveň výkonu a vysoká cena energie stlačeného vzduchu.

Až do 80. let byly pneumatické motory řízeny převážně pneumatickými prvky, které pracovaly se stejným tlakem jako pneumatické motory. Kombinací těchto prvků se realizovaly logické funkce, nebo bloky sekvenčního řízení. Klesající ceny elektronických programovatelných automatů téměř úplně vytlačily z praxe komplexní pneumatické řídicí systémy.

Rychlejší a stále složitější stroje vyžadují výkonnější pneumatické prvky s dlouhou životností. Ty jsou vyvíjeny podle požadavků zákazníka. Důraz je kladen na rychlost pohybu, jednoduchost montáže, rychlost připojení a cenu.

1.2 Pneumatické mechanismy a jejich využití

Využití stlačeného vzduchu má své pevné místo v použití pro pohony, řízení a regulaci. SV je stále více používán a je neodmyslitelnou součástí řady manipulátorů a dalších mechanismů. Obecně se pneumatické pohony používají tam, kde stačí malé až střední síly a je třeba rychlý pohyb s vysokou frekvencí. Lineární pohyby malých pneumatických válců, nebo úchopných hlavic mají malé momenty setrvačnosti a proto umožňují rychlé reakce a rychlosti mechanismů [2].

SV má mnohostranné využití a to i díky jeho dostupnosti ve většině podniků. Často se využívá v konstrukci a stavbě přípravků, balicích a dřevoobráběcích strojů, textilním, potravinářském, nebo farmaceutickém průmyslu.

1.3 Výhody a nevýhody

Výhody pneumatických mechanismů jsou spojeny a podmíněny vlastnostmi stlačeného vzduchu a jeho snadnou dostupností. Umožňují čisté provozní prostředí, nutné v potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Přináší do konstrukce prvků požadavky na hladkost povrchu, odstranění mezer a rohů, velké poloměry zaoblení, což má v důsledku zajistit dobrou čistitelnost. V horkých provozech hutí a sléváren ocení značné rozmezí teplot, ve kterém můžou pneumatické mechanismy pracovat. V dolech, chemickém a nábytkářském průmyslu zaručují bezpečnost provozu i ve výbušném a zápalném prostředí.

Stlačitelnost vzduchu na druhou stranu způsobuje malou tuhost mechanismu a při proměnlivém zatížení špatně dosažitelnou přesnost regulace rychlosti pohybů. Moderní pneumatické zařízení vyžaduje úpravu stlačeného vzduchu zbavením mechanických nečistot a vlhkosti kondenzované vody.

Tyto a některé další málo významné nevýhody – hlučnost, provozní náklady se dají eliminovat, např. jeho kombinací s hydraulickým či tuhým mechanismem a také využitím řídicí elektroniky. [2]

2 Struktura pneumatického mechanismu

2.1 Úprava stlačeného vzduchu

První ze tří základních částí pneumatického mechanismu je vstupní blok, sestavený z prvků pro úpravu vzduchu a obecně obsahuje tři základní prvky: filtrační jednotku s odlučovačem vody, redukční ventil pro nastavení pracovního tlaku a jeho stabilizaci a prvek pro přimazávání vzduchu (obohacování vzduchu olejovou mlhou).

Jednotlivé funkční prvky jsou obvykle vyráběny v odděleném provedení, které ovšem umožňuje vytvořit kompaktní blok – úpravnu vzduchu s kompletním zajištěním potřebných parametrů pracovního média na vstupu do mechanismu. [6]

Díky moderním konstrukcím a materiálovým inovacím pohyblivých částí pneumatických prvků, se v posledních letech ustupuje od nasycování SV za účelem mazání.



Obr.2.1 Úpravna vzduchu

2.2 Rozvaděčový terminál

Druhou část tvoří, podle složitosti obvodu, rozvaděče a ventily, které je možno seskupit do jednoho celku, zvaného rozváděcí ventilový blok. Ten soustřeďuje prvky pro řízení činnosti motoru, tzn. prvky pro řízení rychlosti pohybu motoru, smyslu pohybu motoru, popř. prvky pro řízení dalších provozních parametrů mechanismu, jako např. řízení velikosti tlaku, tlumení hluku apod. [4]



Obr.2.2 Rozvaděčový terminál

2.3 Pohony a řízení

Posledním, výstupním blokem struktury pneumatického mechanismu je motor lineární, kyvný, nebo chapadla či vakuové přísavky.



Obr.2.3 Pneumatické motory, chapadlo, vakuová přísavka

Vnitřní strukturu mechanismu tvoří pneumatický obvod a elektronický řídicí systém. Koordinace činnosti několika pneumatických motorů v rámci daného pracovního cyklu je zpravidla řízena jednoduchými PLC, které jsou svými parametry často přizpůsobeny této aplikaci.



Obr.2.4 Volně programovatelná řídicí jednotka

K propojení všech jmenovaných prvků v obvodech pneumatického mechanismu se používají plastové hadice a nástrčné šroubení.

3 Možnosti ovládání mechanismu

Podle způsobu ovládání

- mechanické
- pneumatické
- elektromagnetické
- ruční

Přímé a nepřímé ovládání

Regulace tlaku

- skoková
- plynulá - proporcionální

Ovládání prvků pro řízení či hrazení průtoku může být ruční, pneumatické, mechanické, elektromagnetické nebo kombinací uvedených způsobů. Hlavním představitelem prvků pro řízení směru průtoku je rozvaděč, vyráběný v desítkách různých provedení.

Mechanicky a pneumaticky ovládané ventily mají stále své pevné místo při řízení jednoduchých mechanismů nebo v prostředí s nebezpečím výbuchu. Nejpoužívanější způsoby mechanického ovládání ventilů je kladkou, pákou s kladkou a dříkem. U **vzduchem ovládaných** ventilů je šoupátko přestaveno tlakem řídicího vzduchu přivedeného do komory pro ovládání ventilu.

Nejvíce využívaný způsob ovládání ventilů pro řízení směru proudu vzduchu je **elektromagnetické**. Známe ventily s jedním, nebo se dvěma magnety. Ventily malých světlostí jsou ovládány přímo silou elektromagnetu, ventily větších světlostí a průtoků mají nepřímé ovládání. Výhodou elektrického signálu je rychlost jeho šíření, až milionkrát rychlejší než pneumatický signál. Elektronická zařízení mohou přesně, citlivě a spolehlivě pracovat na velké vzdálenosti, až stovky metrů.

Přímo ovládané ventily jsou takové ventily, u kterých tlačítko, kladka, nebo kotva elektromagnetu přímo nastavují funkční prvek sedlového ventilu, nebo šoupátko. Takové ventily se používají u malých světlostí, protože potřebná síla k jejich přestavení není příliš velká.

U **nepřímo ovládaných** ventilů slouží k přestavení funkčního prvku sedlového ventilu, nebo šoupátka malý 3/2 ventil, který po přestavení vzduchem přestaví funkční prvek sedlového ventilu, nebo šoupátko. Síly potřebné k přestavení ovládacího 3/2 ventilu jsou velmi malé ve srovnání se silami k přestavení přímo ovládaných ventilů [5].

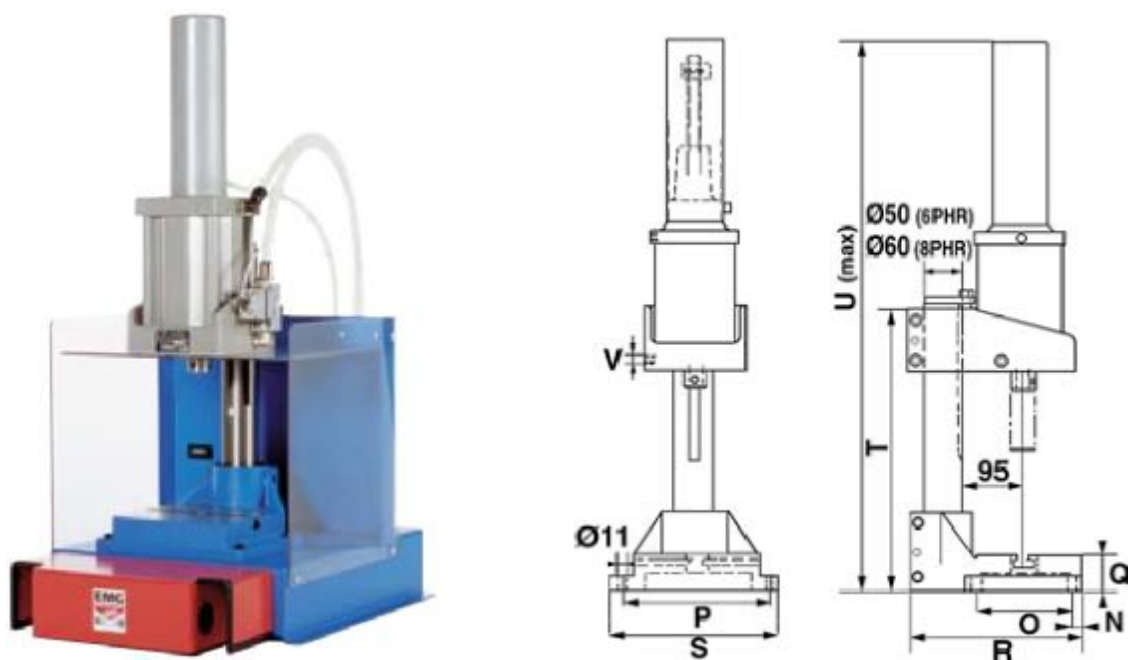
Regulovat tlak - velikost vyvozené síly na pneumomotoru lze plynule, nebo „skokově“. Skokovou regulací myslíme dosažení úrovně požadovaného tlaku zapojením redukčního ventilu, který udržuje konstantní výstupní tlak. Takové řízení tlaku vyniká jednoduchostí a je snadno nastavitelné. Podle umístění redukčního ventilu lze sílu řídit při vysouvání nebo při zasouvání pístnice. Je nutno si uvědomit, že změna síly se projeví rovněž na změně rychlosti pohybu.

Plynulá regulace je realizována proporcionálními ventily, které dokážou spojitě regulovat tlak i množství (objem) stlačeného vzduchu. Zajistíme tak spojitě ovládání rychlosti i tlaku pneumatických pohonů.

4 Rozvaha alternativních způsobů řešení lisu

4.1 Sloupové provedení lisu

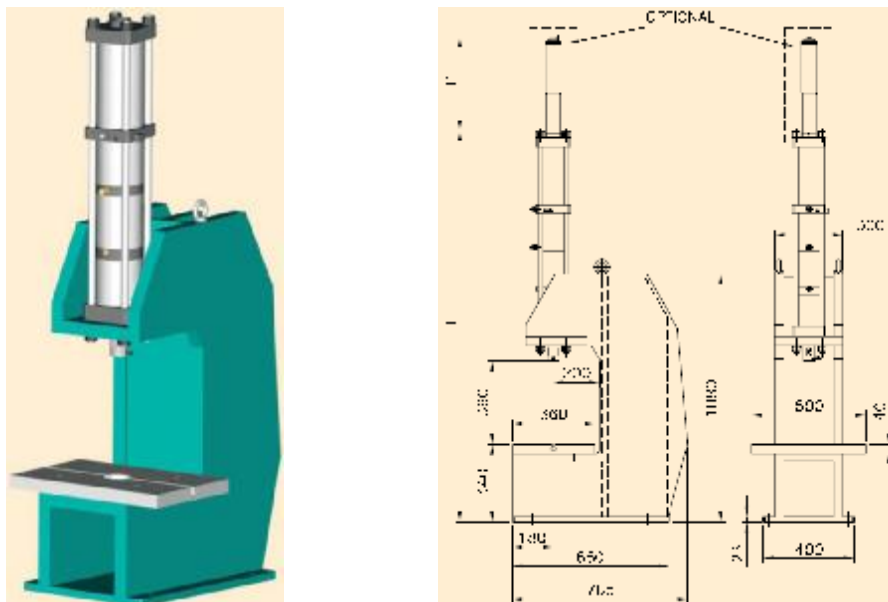
Takové jednoduché provedení lisovacího zařízení můžeme vidět téměř na každé montážní dílně. Jeho využití je rozmanité, nejčastěji pro menší montážní operace, spojování, malé obrubování, zasazování, protlačování, atd. Teoretická síla při 6 bar může dosáhnout až 10 kN. Velká operativnost lisování spočívá v jednoduchém nastavení výšky pneumomotoru volně upevněného na vodící tyči [11].



Obr.4.1 Pneumatický lis sloupového typu

4.2 Rám lisu tvaru C

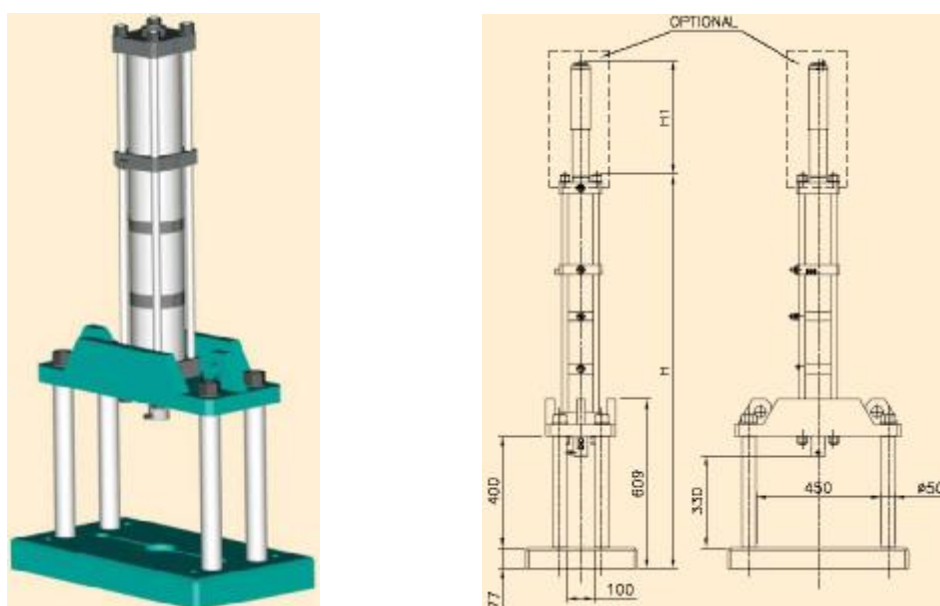
Robustní provedení pneumatického lisu s rámem ve tvaru písmene C. Rám je zhotovený z litiny, nebo svařovaný ze silnostěnného ocelového plechu. Rozsah lisování je omezen zdvihem pneumomotoru. Teoretická síla při 6 bar je až 150 kN.



Obr.4.2 Pneumatický lis – provedení C

4.3 Lis se sloupovým rámem

Pneumatický lis se sloupovým rámem je sestaven ze dvou nebo čtyř „sloupků“ (pochromované ocelové tyče) ukotvenými v základní ocelové desce. Tyto tyče mohou zároveň sloužit jako vedení širokého beranu při lisování rozměrných součástí. [11]



Obr.4.3 Pneumatický lis se sloupovým rámem

4.4 Hliníkové profily

Ke stavbě nosného rámu pneumatického lisu je možné využít stavebnicový systém z hliníkových profilů, nabízený v několika rozměrových řadách, s průřezy čtvercovými, obdélníkovými a speciálními. Systém nabízí řadu doplňkových komponentů – vedení, rozdělovače, odhlučnění, záslepky, atd. Velmi často je využíván ke stavbě jednoúčelových strojů, linek, dopravníků a jiných zařízení.



Obr.4.4 Hliníkový stavebnicový profil

V další části mé bakalářské práce využiji k návrhu konstrukce lisu uvedenou alternativu v odstavci 4.3 - lis se sloupovým rámem.

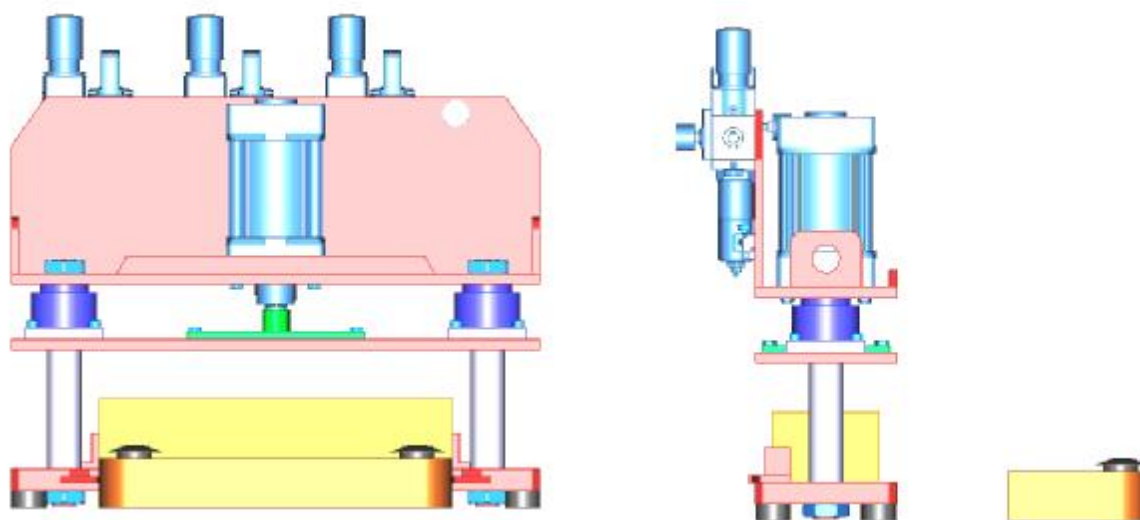
5 Popis a zdůvodnění zvoleného řešení

Jelikož mám za úkol lisovat víko pojistkové skříně, která má relativně velký půdorysný rozměr (150 x 500 mm), je třeba nějakým způsobem zajistit, aby vyvinutá síla beranu rovnoměrně pokryla celou plochu víka. Beru v úvahu, že jedna strana skříně může jít zalisovat snáze než druhá. Tady hrozí, že bude mít beran lisu tendenci vyklánět se z vodorovné polohy a pístní tyč bude neúměrně radiálně zatěžovat vodící pouzdro v hlavě pneumomotoru.

Z tohoto důvodu považuji za optimální navrhnout lis se sloupovým rámem, podobně jak už jsem naznačil v předchozí kapitole 4.3. Tento typ lisu je konstrukčně jednoduchý, využívá řady sériově vyráběných prvků (ekonomická úspora), ale hlavně můžeme využít krajních sloupků jako lineární vedení beranu. Ten bude v místech průchodu vodících tyčí vybaven kuličkovými pouzdry přírubového provedení, které mu zajistí trvale přesnou vodorovnou polohu v průběhu lisování.

Vodící tyče pro tento účel musejí být přesně broušené a musí mít tvrdou povrchovou úpravu (kalením) [13]. Vodící tyče budou z obou stran upraveny osazením a závitem a ukotveny v základové desce pomocí matic.

Spodní základová deska bude mít vyfrézované dvě T-drážky pro uchycení středících opěrných lišt. Lišty slouží jako opěrné prvky k přesnému usazení lisované skříně. Horní rámová deska bude z vrchu na vodící tyče posazená a taktéž zajištěná maticemi. Ocelový plech o síle 3 mm kolmo navařený na horní desku slouží jako její podélná výztuha a je zároveň místem, kde budou umístěny veškeré pneumatické prvky.

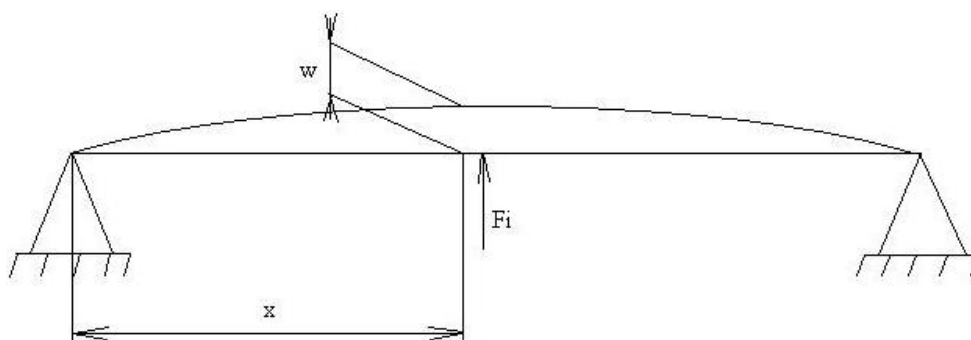


Obr.5.1 Model lisu – přední a boční pohled

6 Konstrukce a pevnostní výpočty

6.1 Dimenzování horní desky rámu lisu

Vypočítáme dostatečnou sílu ocelové desky horní části rámu tak, aby nedocházelo k nežádoucímu průhybu (natočení nosníku), způsobeného zatěžováním pneumomotorem při lisování. Pneumomotor má tendenci táhnout desku při lisování kolmo vzhůru. Deska je ukotvena pomocí dvou nosných tyčí, které zároveň slouží jako vedení beranu. Proto není možné, aby vodící tyče byly ohýbány namáhanou vrchní deskou.



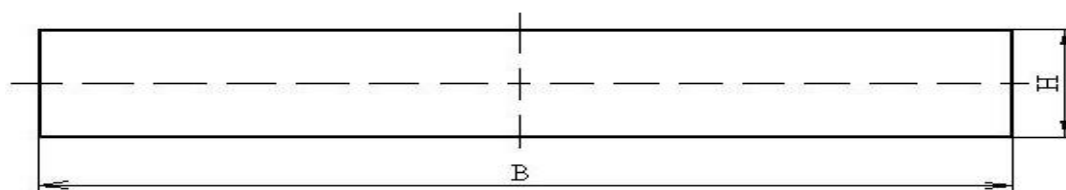
Obr.6.1 Průhyb nosníku

- | | | |
|---|---------------------------------|----------------------------------|
| · | zatěžovací síla pneumomotorem | $F_i = 1400 \text{ N}$ |
| · | modul pružnosti v tahu pro ocel | $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ |
| · | vzdálenost os vodících tyčí | $l = 600 \text{ mm}$ |
| · | síla desky | $H \text{ [m]}$ |
| · | šířka desky | $B \text{ [m]}$ |
| · | dovolené napětí | $\sigma_{Dn} = 100 \text{ MPa}$ |
| · | plošná charakteristika průřezu | $J_{ZT} \text{ [m}^4\text{]}$ |
| · | modul odporu průřezu při ohybu | W_o |

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_o} \leq \sigma_{Dn}$$

$$W_o = \frac{J_{ZT}}{\frac{H}{2}}$$

$$J_{ZT} = \frac{BH^3}{12}$$



Obr.6.2 Řez vrchní deskou rámu

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_o} \leq \sigma_{Dn} \quad \rightarrow \quad M_{max} \leq W_o \cdot \sigma_{Dn}$$

$$F_i \cdot \frac{l}{2} \leq \frac{\frac{BH^3}{12}}{\frac{H}{2}} \cdot \sigma_{Dn}$$

$$H \geq \sqrt{\frac{3 \cdot F_i \cdot l}{B \cdot \sigma_{Dn}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1400 \cdot 0,6}{0,2 \cdot 1 \cdot 10^8}} = 0,01122 \text{ m} = 11,22 \text{ mm}$$

Vrchní část rámu bude tvořit ocelová deska o síle 15 mm.

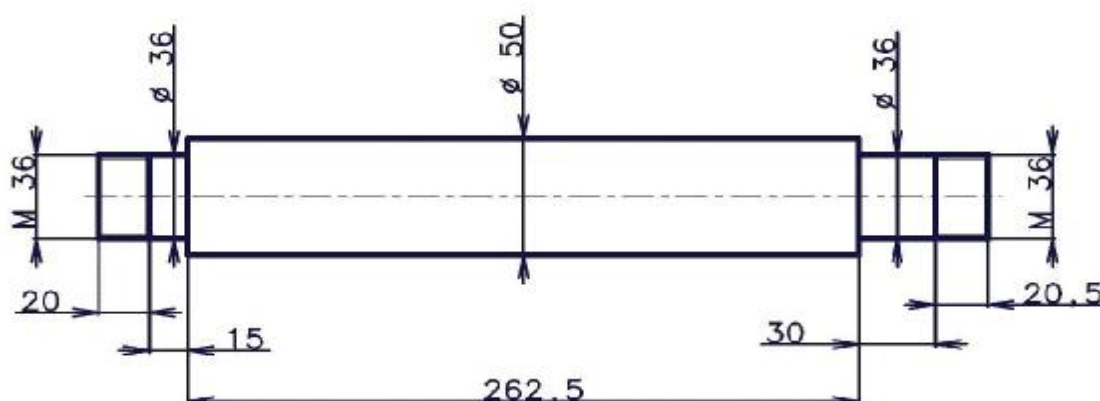
6.2 Návrh sloupového vedení

Celková konstrukce lisu je navržena s ohledem na její jednoduchost a maximální využití již hotových dodávaných prvků. Proto i sloupové vedení – základní nosný prvek rámu lisu, je navržen z vodících tyčí a lineárních setů, které má ve výrobním programu specializovaná firma na lineární vedení MATIS s.r.o. [13].

Vodící tyče jsou broušené, materiál Cf53 (1.1213) a povrchově kalené 62 ± 2 HRC. Standardní provedení typ W je nejčastěji používaný typ pro kuličková pouzdra. Vyznačuje se velmi vysokou tvrdostí s možností opracování tyčí (osazení, závity). Zároveň využijeme servisu dodavatele necháme zhotovit osazení a vnější závity na obou koncích vodící tyče pro uchycení do desky podle nákresu (Obr.6.3).

Vzhledem k tomu, že jsem se rozhodl použít jen dvě vodící tyče namísto původně zamýšlených čtyř, budou mít obě průměr 50 mm, což zajistí dostatečnou tuhost a stabilitu konstrukce ve všech směrech. Velikost závitu bude M36, délka závitu ve spodní i horní části tyče 20 mm a osazení na zapuštění do desky rámu je 30 a 15 mm (dolní a horní část).

Označení tyčí: **W50 – 0348 (2 x M36, 20 mm)**

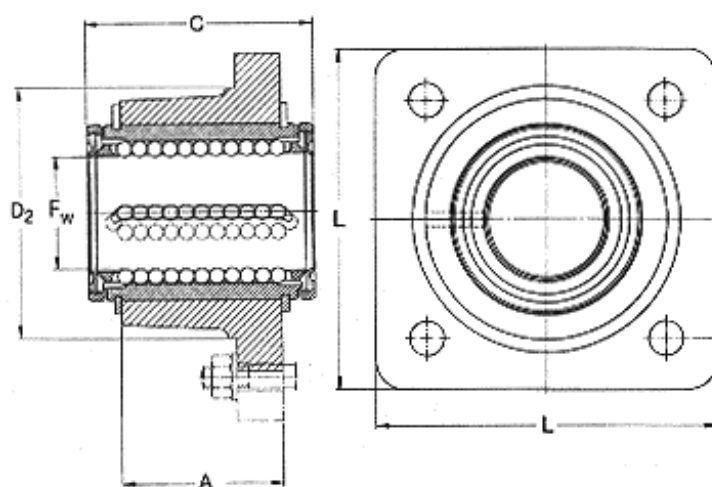


Obr.6.3 Nákres vodící tyče

Lineární kuličkové vedení je přichyceno k beranu lisu přes čtvercovou přírubu čtyřmi imbusovými šrouby M8x25 – 8.8 (DIN912) s pružnými kroužky DIN 7980. Pouzdro je tvořeno ocelovým pláštěm, plastovou klecí se čtyřmi řadami ložiskových kuliček. V nabídce jsou jednostranně, nebo oboustranně utěsněná.

Označení kuličkového pouzdra: **LMEK-50**

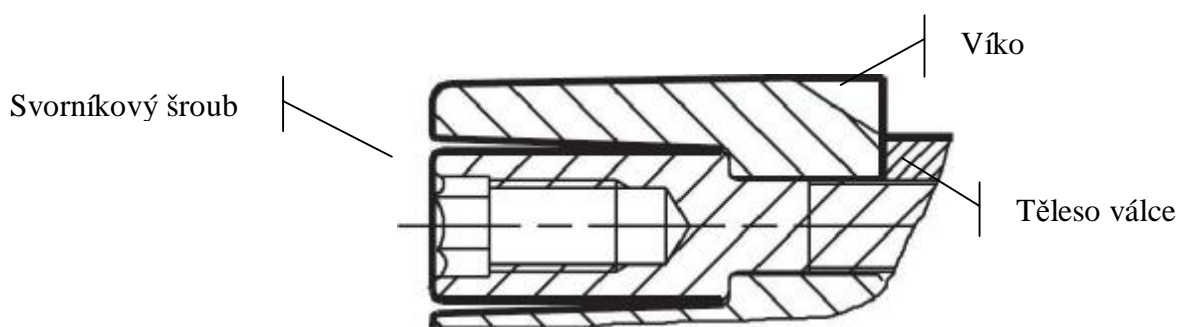
- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| · výška pouzdra | $C = 80 \text{ mm}$ |
| · šířka | $L = 100 \text{ mm}$ |
| · průměr otvoru pro tyč | $F_w = 40 \text{ mm}$ |
| · vnější průměr | $D_2 = 90 \text{ mm}$ |



Obr.6.4 Kuličkové pouzdro

6.3 Kontrola šroubového spojení pneumomotoru

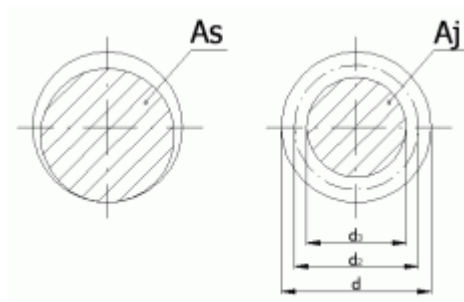
Pneumomotor je na horní desku rámu posazen z vrchu a připevněn čtyřmi šrouby, které jsou ve válci ukotveny v dutých, vrtaných svorníkových šroubech. Šrouby budou zatíženy osovou silou. Provedu kontrolu velikosti šroubů.



Obr.6.5 Dutý svorníkový šroub pneumomotoru

Navržený typ šroubu se šestihrannou hlavou: 4 x **M8x35 ČSN 02 1101**

| | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| · materiál | 12 040 |
| · pevnostní třída dle ISO | 8.8 |
| · mez kluzu jmenovitá | $R_e = 640 \text{ MPa}$ |
| · malý průměr závitu | $d_3 = 6,647 \text{ mm}$ |
| · střední průměr závitu | $d_2 = 7,188 \text{ mm}$ |
| · rozteč závitů | $P = 1,25 \text{ mm}$ |
| · maximální lisovací síla | $F_{\max} = 1400 \text{ N}$ |
| · síla v ose jednoho šroubu | $F_o = 350 \text{ N}$ |



Obr.6.6 Řez šroubem

Dovolené napětí v tahu σ_D pro spoj s předpětím zatížený míjivě: $\sigma_D \approx (0,3 \text{ až } 0,1)R_e$

$$\sigma_D = 0,1 \cdot 640 \cdot 10^6 = 64 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 64 \text{ MPa}$$

Výpočet minimálního jmenovitého průřezu A_{Smin} ze zadané síly F_o a napětí v tahu σ_D :

$$A_{Smin} = \frac{F_o}{\sigma_D} = \frac{350}{64 \cdot 10^6} = 5,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 5,4 \text{ mm}^2$$

Skutečný jmenovitý průřez A_S šroubu M8:

$$A_S = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{7,188 + 6,647}{2} \right)^2 = 37,58 \text{ mm}^2$$

Podmínka $A_{Smin} < A_S$ je splněna: $5,4 \text{ mm}^2 < 37,58 \text{ mm}^2$

Doporučené šrouby velikosti M8, třídy pevnosti 8.8 vyhovují dané aplikaci.

7 Návrh pneumatického obvodu

7.1 Úvod do problematiky

Od samého počátku, po převzetí zadání bakalářské práce, jsem přemýšlel, jakým způsobem vyřeším pneumatické ovládání lisu. Měl jsem zcela jasnou představu o konstrukčním uspořádání, ale několik variant jak sestavit pneumatický obvod. Mou snahou bylo skloubit požadavky na bezpečnost obsluhy, jednoduchost ovládání a kontrolu přesnosti vyvinuté síly.

Obvod je navržen pouze s použitím mechanicky a pneumaticky ovládaných prvků bez použití elektromagnetů a jiné řídicí elektroniky. K provozu lisu je tedy zapotřebí zajistit pouze nepřetržitý přívod stlačeného vzduchu v rozmezí 0,5 až 0,7 MPa.

V následujících kapitolách uvedu alternativy řešení včetně pneumatických schémat, výpočtů, popisu laboratorních simulací, obrázků a hlavně vyhodnocení všech variant.

7.2 Návrh obvodu s tlakovým spínačem - varianta 1

Popis řešení:

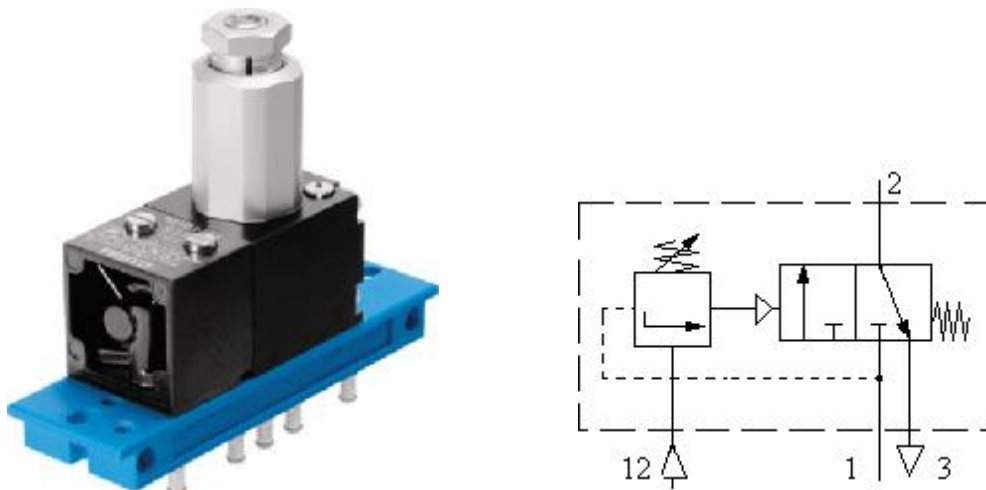
Myšlenka tohoto řešení byla postavena na využití pneumatického prvku VD-3-PK-3. Pod tímto kódem se skrývá tlakový spínač Festo, který je kombinací tlakem řízeného ventilu a monostabilního rozvaděče 3/2 (Obr. 7.1). Tlakový spínač je připojen do větve, která přivádí vzduch do pneumomotoru a působí na vysunutí pístnice. Zde spínač kontroluje hodnotu dosaženého tlaku a dává příkaz k ukončení lisování.

V hydraulice je podobný prvek známý jako pojišťovací ventil, v pneumatice ale není běžně užívaným prvkem. Já jsem si mohl v laboratoři pneumatiky na výcvikovém trenažéru FESTO Didactic vyzkoušet jeho funkci v níže popsaném obvodu. Ten tvoří především trojice tlakových spínačů spolu se třemi regulátory tlaku a další pneumatické prvky (Obr. 7.2)

Charakteristika řídicího prvku:

Ručně nastavitelný tlakový spínač 1.3: VD-3-PK-3

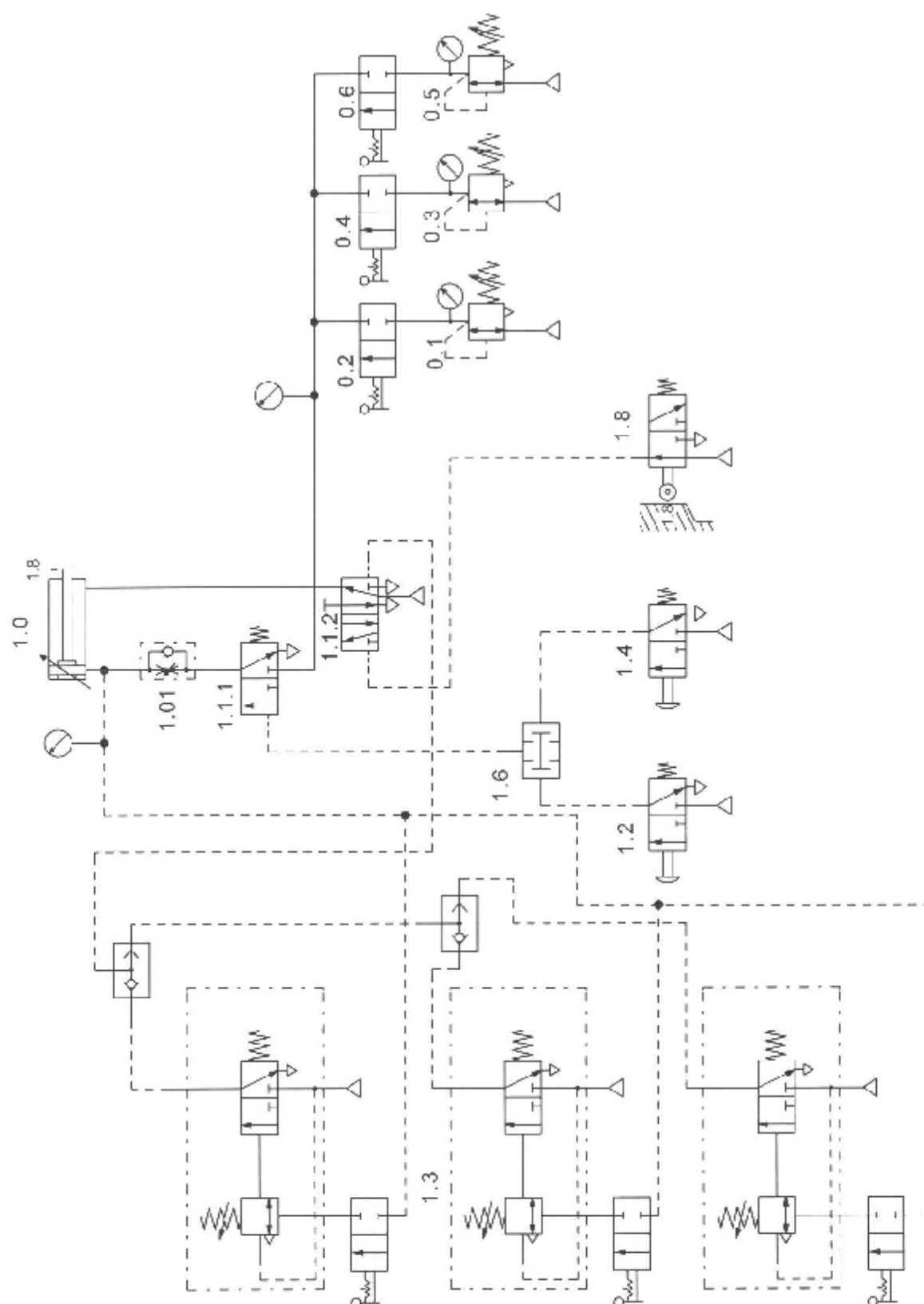
| | |
|-----------------------------------|---|
| · konstrukce | sedlový ventil + rozvaděč 3/2 monostabil. |
| · normální jmenovitý průtok (1→2) | 100 dm ³ /min |
| · provozní tlak | 0,18 - 0,8 MPa |
| · přesnost | ± 2 % |
| · připojení | připojovací deska 2n s nátrubky JS 3 |



Obr.7.1 Tlakový spínač VD-3-PK-3 a jeho schéma

Seznam ostatních pneumatických prvků použitých v pneumatickém schéma na Obr. 7.2:

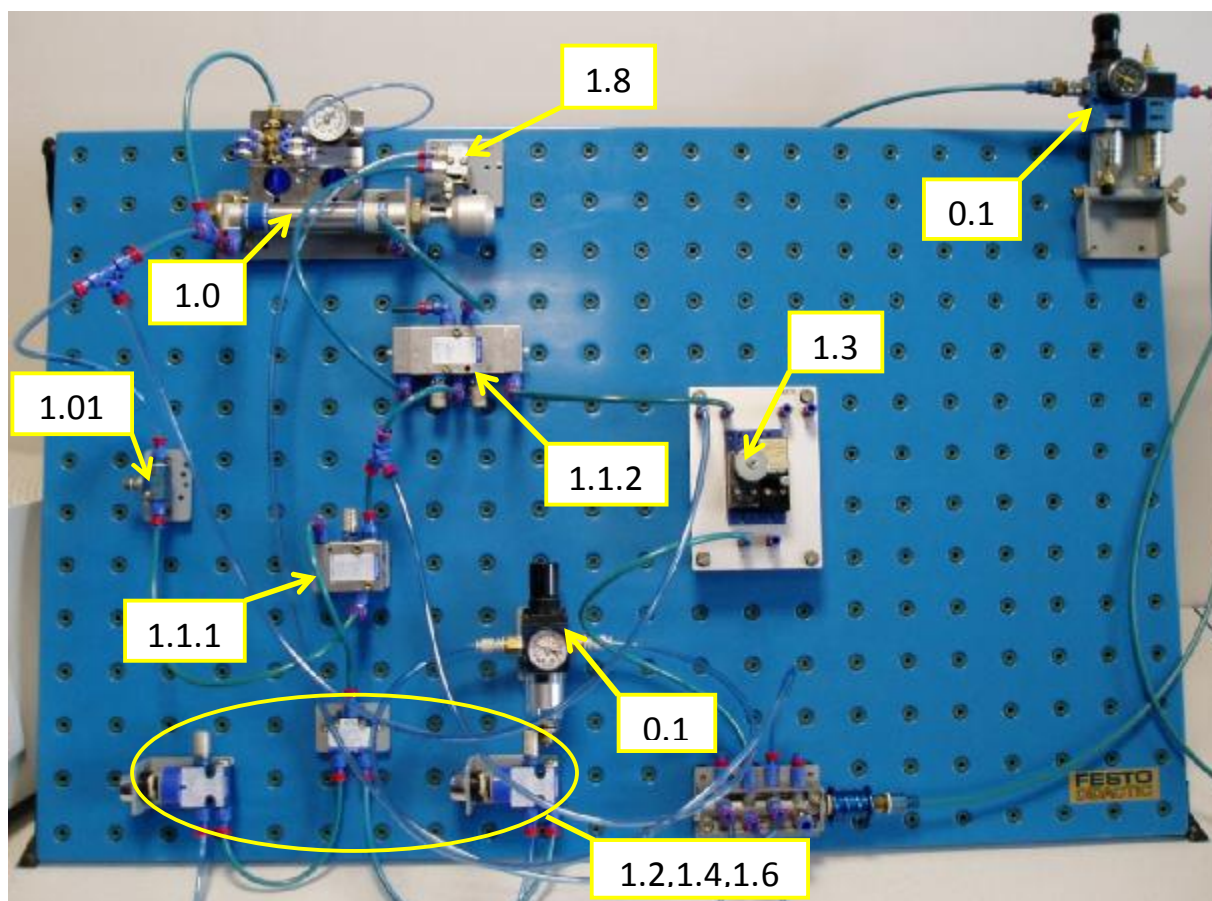
- | | |
|--|---------------|
| · dvojitý pneumatický válec s nastavitelným tlumením | 1.0 |
| · jednosměrný škrticí ventil | 1.01 |
| · monostabilní 3/2 rozvaděč | 1.1.1 |
| · bistabilní 3/2 rozvaděč | 1.1.2 |
| · přesný regulátor tlaku | 0.1, 0.3, 0.5 |
| · ručně ovládaný 2/2 rozvaděč s aretací | 0.2, 0.4, 0.6 |
| · logický prvek AND | 1.6 |
| · tlačítkem ovládaný monostabilní 3/2 rozvaděč | 1.2, 1.4 |
| · kladičkou ovládaný 3/2 rozvaděč | 1.8 |
| · logický prvek OR | |



Obr.7.2 Obvodové schéma – varianta 1

Simulace pneumatického obvodu na výukovém trenažéru FESTO Didactic:

Na obrázku číslo 7.3 je zachyceno propojení všech prvků, sestavených podle pneumatického schéma „varianta 1“ a pro lepší orientaci jsou prvky stejně označené. Tlakový spínač a regulátor tlaku jsou zapojeny pouze jedenkrát namísto tří (tři kusy jsou zakresleny ve schématu). Pro názornou simulaci a kontrolu procesu lisování to je však dostačující.



Obr.7.3 Simulace na výukovém panelu FESTO Didactic

Funkce pneumatického obvodu:

Po napojení obvodu na tlakový vzduch ze vzdušníku a překontrolování těsnosti spojů jsem několikrát prakticky vyzkoušel funkci řízení pohybu pneumomotoru. Obvod je vymyšlen tak, aby po celou dobu lisování bylo aktivováno dvouruční ovládání (bezpečnost obsluhy). Vygenerovaný tlak vzduchu přestaví rozvaděč 1.1.1 a pístní tyč se začíná vysouvat tlakem vzduchu, daný nastavením regulátoru 0.1. Po jejím vysunutí do koncové polohy (při simulaci tyč nenarazí na lisovaný předmět) se prostor válce pneumomotoru nad pístem postupně dotlakuje na požadovanou hodnotu. V tomto okamžiku se aktivuje tlakový spínač 1.3, seřízený tak, aby v danou chvíli přestavil rozvaděč 1.1.2 a naplnil se vzduchem prostor válce pod pístem.

Uvolní-li nyní obsluha dvouruční ovládání, pístní tyč se zasune. Úplným zasunutím pístnice aktivuje 3/2 koncový spínač 1.8, který signálem vrátí rozvaděč 1.1.2 do výchozí polohy – pneumatický obvod je nachystaný na další lisovací cyklus.

Chování pneumatického obvodu:

Až praktická zkouška zapojení navrženého obvodu objevila určité nevýhody, které mi v době projektování unikly. Po vysunutí pístní tyče a dosažení požadované síly lisování (požadovaného tlaku), nastává tento okamžik:

- Obsluha stále drží dvouruční ovládání – tlak vzduchu je přiváděn do prostoru válce nad píst.
- Zároveň však byl přestaven 1.1.2 rozvaděč – tlak vzduchu je přiveden i do prostoru válce pod pístem.

Tento jev se projevuje:

- snížením síly pístní tyče při lisování
- kolísáním tlaku vzduchu v pneumomotoru
- cukáním pohybu pístní tyče

Tyto projevy nejsou patrné při práci pneumomotoru bez zátěže. Vypozoroval jsem je až při zatěžování pístní tyče rukou během jejího vysouvání a odečítáním hodnot na manometru.

Závěr (varianta 1):

Hlavní nedostatek této varianty řešení vidím v tom, že není zajištěný stabilní silový účinek po dobu lisování. Ani seřízením tlaku regulátorem nelze nastavit požadovaný tlak (lisovací síla). To je způsobeno silovým působením tlaku vzduchu na obě strany pístu proti sobě ve stejný moment.

A další nevýhodou, které se chci v příštím návrhu vyvarovat, je přílišná složitost obvodu. Tím pádem není plněn požadavek na jednoduchost systému, jednoduchost ovládání a údržby.

Z těchto důvodů přistoupím k návrhu nového řešení pneumatického obvodu.

7.3 Návrh obvodu (varianta 2)

Popis řešení:

V dalším návrhu je popsáno řešení obvodu bez použití tlakového spínače, který jsem původně považoval za stěžejní, ale neukázal se jako ideální pro tuto aplikaci. Také z důvodu zjednodušení celého systému jsem navrhl obvodové schéma pouze s použitím tří regulátorů tlaku. Přepínáním mezi regulátory budu řídit tlak vzduchu při lisování a začleněním řídicího 5/2 rozvaděče ovládat vysunutí a zasunutí pístnice.

Stejně jako v první variantě bude obsluha řídit lisování prostřednictvím dvouručního ovládání.

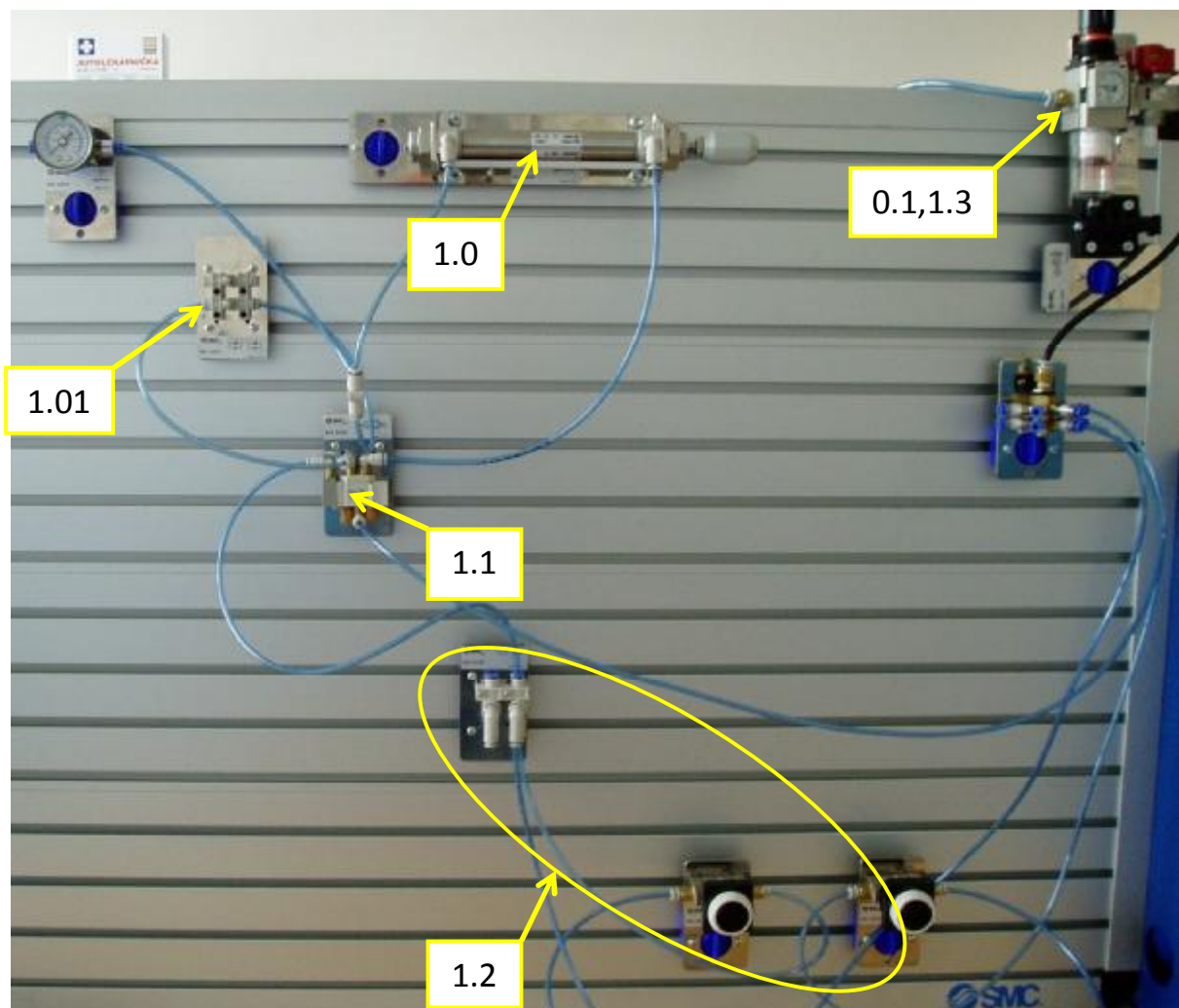
[výkres č. 2009 - 02 – JK]

Obr.7.4 Obvodové schéma – varianta 2

Seznam pneumatických prvků použitých v pneumatickém schéma na Obr. 7.4:

- dvojitý pneumatický válec s nastavitelným tlumením 1.0
- jednosměrný škrticí ventil 1.01
- pneumaticky ovládaný monostabilní 5/2 rozvaděč 1.1
- přesný regulátor tlaku 0.1, 0.3, 0.5
- ručně ovládaný 2/2 rozvaděč s aretací, NC 0.2, 0.4, 0.6
- dvouruční ovládání 1.2
- filtr stlačeného vzduchu -10 μm 1.3

Simulace pneumatického obvodu na výukovém trenažéru SMC Pneutrainner 200:



Obr.7.5 Simulace na výukovém panelu SMC Pneutrainner 200

Kontrola funkce pneumatického obvodu (varianta 2) byla provedena tentokrát na trenažeru SMC. Uspořádání jednotlivých prvků je zachyceno na obrázku číslo 7.5 (charakteristika použitých prvků je zpracovaná v kapitole č. 8). Opět jsem pro tuto cvičnou simulaci lisování nezačlenil do obvodu všechny tři kusy tlakových regulátorů, jak je nakresleno ve schématu.

Funkce pneumatického obvodu:

Protože mi bylo doporučeno navrhnout schéma méně komplikovaně a omezit se jen na základní pneumatické prvky jako regulátor tlaku, dvouruční ovládání a rozvaděče, není složitá ani funkce tohoto nového obvodu.

Uživatel lisu poté, co připraví výrobek, v první řadě otevře přívod jednoho ze tří regulátorů, podle toho, jakou silou bude výrobek zalisován (rozvaděč 0.2, 0.4, nebo 0.6). Pak aktivuje dvouruční ovládání 1.2. Vygenerovaný tlak vzduchu přestaví řídicí monostabilní rozvaděč 1.1 a pístní tyč se začne vysouvat. Po vysunutí pístnice, beran lisu stlačí výrobek takovou silou, která odpovídá nastavenému tlaku regulátorem. Obsluha stroje dosažený tlak zkontroluje na manometru a uvolní dvouruční ovládání. Rozvaděč 1.1 se přestaví silou pružiny do výchozí polohy a tím dává průchod vzduchu na opačnou stranu válce. Pístní tyč se zasune a beran lisu uvolní výrobek. Vše je připraveno k dalšímu cyklu lisování.

Závěr (varianta 2):

Hlavně díky zjednodušení proti původní variantě je navržen spolehlivý obvod, který je snadno ovladatelný. Již nedochází ke kolísání tlaku při lisování a požadovaná síla je snadno nastavitelná. Obsluha jednoduchým přepnutím mezi regulátory volí požadovanou sílu.

Tuto variantu beru jako konečnou a v dalších kapitolách se již k variantě 1 nebudu vracet.

8 Charakteristika pneumatických prvků

8.1 Výpočet parametrů pneumatického přímočarého motoru 1.0

Základními parametry prvků jsou tlak a průtok, dále geometrický objem a plocha pístu, rychlost, nebo otáčky. Z těchto parametrů lze potom vypočítat sílu, nebo moment. U pneumatických motorů je důležitá také účinnost.

Pneumatické prvky se vyrábí ve velkém množství nejrůznějších konstrukčních provedení, tvarů a velikostí. Pro aplikaci pneumatického lisu bude tvořit základní mechanismus pneumatický přímočarý motor s jednostrannou pístnicí, kde se pohybu v obou směrech dosahuje stlačeným vzduchem.

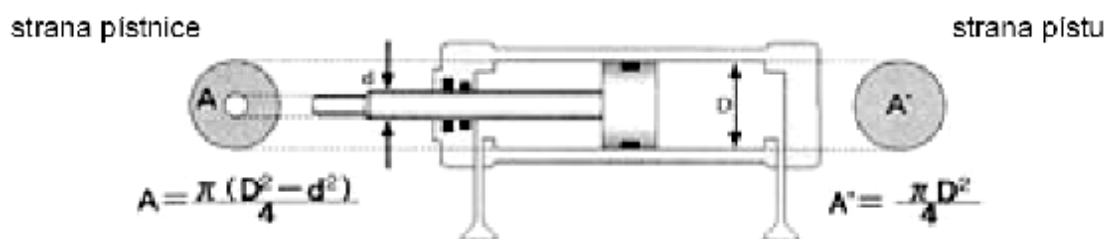
Přímočarý pneumomotor 1.0 zajišťuje pohyb beranu lisu a tím zalisování víka pojistkové skříně. Správná volba velikosti pohonu (průměru a délky válce) je důležitá k urychlení práce a zaručení správného silového účinku.

Návrh velikosti pneumatického motoru:

| | |
|---------------------------|--------------------------------------|
| · přetlak | $p_1 = 0,45 \text{ MPa}$ |
| · barometrický tlak | $p_{\text{bar}} = 0,1 \text{ MPa}$ |
| · absolutní tlak | $p_{1\text{abs}} = 0,55 \text{ MPa}$ |
| · maximální lisovací síla | $F_{\text{max}} = 1400 \text{ N}$ |
| · zdvih pneumomotoru | $h = 80 \text{ mm}$ |

Sílu, kterou vyvine přímočarý pneumatický motor, určuje plocha pístu, tlak vzduchu a odpory, způsobené třením vedení a těsnění pístu a pístnice. Pracovní tlak 0,45 MPa byl zvolen na základě poznatků ze školení firmy Parker Hannifin. Tato doporučená hodnota tlaku pro provoz pneumatických mechanismů vychází z několika zkoumaných aspektů:

- optimalizace spotřeby energie pro výrobu stlačeného vzduchu
- snížení zahřívání kompresoru
- snížení úniků vzduchu z tlakovzdušné sítě



Obr.8.1 Řez pneumomotorem

Průměr pneumomotoru:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{max}}{\pi \cdot p_1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1400}{\pi \cdot 4,5 \cdot 10^5}} = 0,06194 \text{ m} = 61,94 \text{ mm}$$

Volíme vždy nejbližší větší průměr vyráběného válce: $D = 63 \text{ mm}$

Do vzorce pro výpočet požadovaného průměru válce se obvykle přidává koeficient ($k = 1,1$ až $1,3$), který zahrnuje pasivní odpory těsnění v pneumomotoru za pohybu. V mém případě je ale výrobek lisovaný maximální silou již za klidu, a proto nemusím počítat s žádnými odpory vzniklými třením.

Výpočet skutečné síly pneumomotoru při vysouvání:

$$F_{SK} = \frac{1}{4} \pi [p_{1abs} \cdot D^2 - p_{bar} (D^2 - d^2)]$$

$$F_{SK} = \frac{1}{4} \pi \cdot [5,5 \cdot 10^5 \cdot 0,063^2 - 10^5 \cdot (0,063^2 - 0,02^2)]$$

$$F_{SK} = 1434 \text{ N}$$

Skutečná lisovací síla F_{SK} pneumomotoru o průměru pístu $D = 63 \text{ mm}$, průměru pístnice $d = 20 \text{ mm}$ při tlaku $0,45 \text{ MPa}$ je 1434 N . Navržený válec $D = 63 \text{ mm}$ lze použít.

Z katalogu firmy *Parker Hannifin* vybírám dvojčinný pneumatický přímočarý motor série P1D Standard, patřící do skupiny ISO. Jde o univerzální pneumomotor pro široké spektrum využití a dlouhou životností. Tělo je hliníkové, pístní tyč z chromované nerezavějící oceli. Díky použitému samomaznému těsnění pístu, pístní tyče i stíracímu kroužku, není třeba stlačený vzduch přimazávat.

Technické parametry navrženého přímočarého pneumomotoru **P1D-S063MS-0080**:

| | |
|---------------------------|--|
| · průměr pístu | $D = 63 \text{ mm}$ |
| · průměr pístní tyče | $d = 20 \text{ mm}$ |
| · zdvih | $h = 80 \text{ mm}$ |
| · závit na pístní tyči | M 16x1,5 |
| · připojovací závity | G 3/8" |
| · pracovní teplota | -20°C až $+80^\circ\text{C}$ |
| · tlumení | nastavitelné v obou koncových polohách |
| · maximální pracovní tlak | $p_{max} = 1,0 \text{ MPa}$ |
| · pracovní médium | suchý, filtrovaný vzduch, třída kvality 3 |



Obr.8.2 Pneumatický přímočarý motor série P1D

8.2 Spotřeba vzduchu pneu. přímočarého motoru 1.0

Rozlišujeme dva druhy spotřeby vzduchu:

- okamžitá maximální spotřeba vzduchu
- průměrná spotřeba vzduchu za minutu

První údaj je důležitý pro dimenzování přívodních hadic, ventilů, šroubení a jednotek pro úpravu stlačeného vzduchu. Průměrnou spotřebu periodicky pracujících pneumatických motorů je třeba znát pro určení výkonnosti kompresoru a výpočet nákladů na energii.

Objem vzduchu V_c na jeden pracovní cyklus:

$$V_c = \frac{1}{4} \pi \cdot (2D^2 - d^2) \cdot H = \frac{1}{4} \pi \cdot [(2 \cdot 0,063^2) - 0,02^2] \cdot 0,08 = 0,00047 \text{ m}^3 = 0,47 \text{ dm}^3$$

Přepočteno na normální stav:

$$V_{Nc} = V_c \cdot \frac{p_{1abs}}{p_{bar}} = 0,0004736 \cdot \frac{0,55 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6} = 0,0026 \text{ m}_N^3 = 2,6 \text{ dm}^3$$

Čas t potřebný k vykonání jedné operace lisování (vysunutí a zasunutí pístní tyče):

$$t = \frac{(2D^2 - d^2) \cdot H}{d_t^2 \cdot v_T}$$

- vnitřní průměr přívodního vedení, volím 6 mm d_t
- rychlost vzduchu v přívodním vedení volím 25 m·s⁻¹ v_T

$$t = \frac{(2 \cdot 0,063^2 - 0,02^2) \cdot 0,08}{0,006^2 \cdot 25} = 0,7 \text{ s}$$

Okamžitá spotřeba vzduchu Q_N za normálních podmínek při jednom cyklu:

$$Q_N = \frac{V_{Nc}}{t} = \frac{0,0026}{0,7} = 0,00371 \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1} = 222,6 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

8.3 Dvouruční ovládání

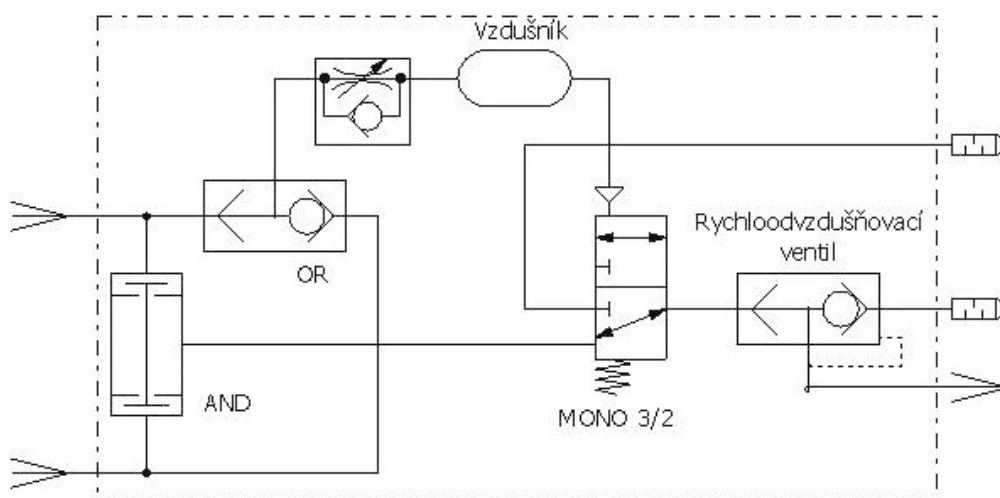
Pneumatické lisy podléhají evropské bezpečnostní normě EN574 pro zajištění bezpečnosti pracovníků. Z toho důvodu jsem do obvodu zařadil prvek dvouručního ovládání 1.2. V mém obvodovém schéma (Obr. 7.4) to jsou dva monostabilní rozvaděče 3/2 spolu s logickým prvkem AND, které tuto činnost společně vykonávají. Stejnou funkci má i sériové spojení dvou monostabilních NC rozvaděčů 3/2. [1]

Pro naši aplikaci však navrhuji použít **pult dvouručního ovládání** v robustním kovovém provedení (Obr.8.3). Ten je osazen dvěma černými stiskacími ovladači pod ochranným krytem. Uprostřed ovládacího pultu je umístěn červený vypínač nouzového zastavení s hříbovým hmatníkem a s aretací ve smyslu ČSN EN 418. Pro připojení vzduchu je využito nástrčných spojek pro hadice průměru 6 mm.



Obr.8.3 Pult dvouručního ovládání Siemens

Výstup z tohoto ventilu je spuštěn pouze tehdy, pokud jsou oba vstupní signály spuštěny zároveň maximálně v rozmezí 0,5 s a trvá pouze po dobu, kdy jsou oba vstupní signály aktivní. Funkce je patrná z obvodového schéma na Obr.8.4.



Obr.8.4 Podrobné schéma dvouručního ovládání

8.4 Úprava stlačeného vzduchu

Při výrobě a rozvodu SV dochází k jeho nežádoucímu znečištění (mechanické nečistoty, částice rzi, zbytky maziv, vlhkost), které mají za následek poruchy funkce pneumatických prvků. Abychom zaručili správné parametry a kvalitu stlačeného vzduchu, je třeba bezprostředně u mechanismu lisu předřadit filtr.

Charakteristika prvku (1.3 na Obr. 7.4):

Jedná se o filtr s kovovým pláštěm řady AF firmy SMC, označení **AF20-F02**

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| · normální jmenovitý průtok | 750 dm ³ /min |
| · filtrační vložka | 10 μm |
| · závit | G1/4 |
| · objem jímky | 15 cm ³ |
| · odpouštění kondenzátu | ručně |
| · montáž | ve svislé poloze |



Obr.8.5 Filtr AF20-F02

V obvodu jsou paralelně zapojeny tři přesné regulátory tlaku, z nichž vždy jeden zásobuje pneumomotor tlakem vzduchu. Příslušenstvím regulátoru je manometr.

Charakteristika prvků (0.1, 0.3, 0.5 na Obr. 7.4):

Přesný regulátor tlaku řady IR2000 firmy SMC, označení **IR2020-F02**

- | | |
|-----------------------------------|------------------------|
| · rozsah regulovaných tlaků | 0,005 ~ 0,8 MPa |
| · závit | G1/4 |
| · opakovatelná přesnost nastavení | 0,5 % z celého rozsahu |
| · odpouštění kondenzátu | ručně |
| · montáž | ve svislé poloze |



Obr.8.6 Přesný regulátor IR2020-F02

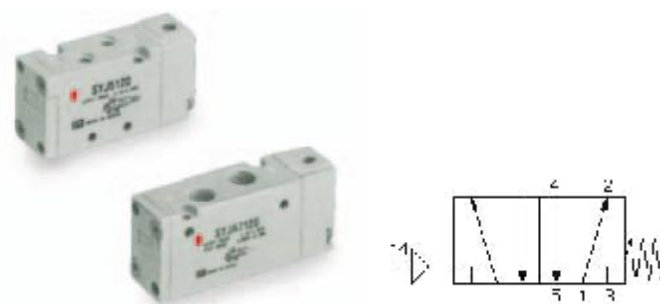
8.5 Rozvaděče a ventily

Pneumaticky ovládaný monostabilní rozvaděč 5/2 v hlavní řídící hladině 1.1 jsem vybral z nabídky firmy SMC. Jeho funkcí je přímo ovládat průchod stlačeného vzduchu do tělesa pneumomotoru.

Charakteristika prvku (1.1 na Obr. 7.4):

Jedná se o kompaktní provedení rozvaděče řady SYJA7000 firmy SMC, **SYJA7120-01F**

- normální jmenovitý průtok 590 dm³/min
- provozní tlak 0,15 ~ 0,7 MPa
- vývody G1/4
-



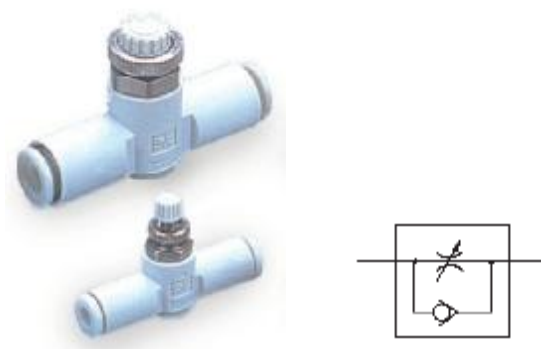
Obr.8.7 Rozvaděč SYJA7120-01F

Jednosměrný škrticí ventil 1.01, jehož funkcí je regulovat rychlost vysouvání pístní tyče při lisování. Škrčení je ručně regulovatelné v jednom směru, volné proudění v druhém směru.

Charakteristika prvku (1.01 na Obr. 7.4):

Plastové provedení se zpětným ventilem řady AS In-line, označení **AS2051F-08**

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| · normální jmenovitý průtok | 460 dm ³ /min |
| · provozní tlak | 0,05 ~ 0,8 MPa |
| · hadička | 8 mm |



Obr.8.8 Škrticí ventil AS2051F-08

8.6 Hadice a šroubení

Hadice z plastů se obvykle používají pro vzájemné propojování pneumatických prvků a jejich připojení na přívod SV. Při jejich montáži se snadno zkracují na potřebnou délku a rychle nasadí na šroubení, nebo zasunou do nástrčných spojek.

Charakteristika hadice:

Měkká polyuretanová hadice, označení **TPU8X1.25**

- | | |
|-------------------------|---------------|
| · vnější/vnitřní průměr | 8/5,5 mm |
| · rozsah teplot | -20 až +60 °C |
| · rozměrová tolerance | ± 0,1 mm |



Obr.8.9 Polyuretanové hadice

Nástrčné spojky lze použít až do tlaku 1 MPa a mají poměrně malý odpor při průtoku SV. Hadička je zajištěna proti vytažení pružným kovovým kroužkem a utěsněna O-kroužkem. K uvolnění hadice se stlačí uvolňovací kroužek.

Charakteristika spojek:

Přímé a úhlové spojky, T-kusy firmy SMC, řady **KQ2**

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| · závity | G1/4 a G3/8 |
| · provozní tlak | 1 MPa |
| · pro hadičky průměr | 8 mm |
| · materiál | polyamid, mosaz, NBR, PTFE |
| · | |



Obr.8.10 Nástrčné spojky

9 Přesnost nastavení síly

Tato kapitola je zaměřena na výpočty tlaků, které je nutné nastavit regulátorem tak, abychom lisovali výrobky požadovanou silou. Současně ověříme, zda jsme schopni lisovat s opakovatelnou přesností ± 30 N, tak jak je uvedeno v zadání bakalářské práce.

Ne náhodou jsem zařadil do obvodu přesné regulátory tlaku řady IR2000 firmy SMC. Výrobce u nich totiž garantuje opakovatelnou přesnost $\pm 0,5\%$ z celého rozsahu. Závit regulačního šroubu se stoupáním 0,5 mm umožňuje přesné nastavení tlaku. Jiní výrobci, kteří mají v sortimentu podobný prvek, udávají přesnost nastavení jako hysterezi. Např. Festo uvádí u přesného redukčního ventilu LRP hysterezi 0,02 bar.

Tabulka 9.1

| Přetlak [bar] | Plocha pístu Ø 63 mm [m ²] | Síla F [N] | Přesnost $\pm 0,5\%$ [N] | Požadovaná síla [N] |
|------------------|---|---------------|-----------------------------|------------------------|
| 2,00 | 0,00312 | 623,45 | 3,12 | |
| 2,10 | 0,00312 | 654,62 | 3,27 | |
| 2,20 | 0,00312 | 685,79 | 3,43 | |
| 2,30 | 0,00312 | 716,97 | 3,58 | |
| 2,40 | 0,00312 | 748,14 | 3,74 | |
| 2,50 | 0,00312 | 779,31 | 3,90 | |
| 2,60 | 0,00312 | 810,48 | 4,05 | |
| 2,70 | 0,00312 | 841,66 | 4,21 | 850 |
| 2,80 | 0,00312 | 872,83 | 4,36 | |
| 2,90 | 0,00312 | 904,00 | 4,52 | |
| 3,00 | 0,00312 | 935,17 | 4,68 | |
| 3,10 | 0,00312 | 966,35 | 4,83 | |
| 3,20 | 0,00312 | 997,52 | 4,99 | 1000 |
| 3,30 | 0,00312 | 1028,69 | 5,14 | |
| 3,40 | 0,00312 | 1059,86 | 5,30 | |
| 3,50 | 0,00312 | 1091,04 | 5,46 | |
| 3,60 | 0,00312 | 1122,21 | 5,61 | |
| 3,70 | 0,00312 | 1153,38 | 5,77 | |
| 3,80 | 0,00312 | 1184,55 | 5,92 | |
| 3,90 | 0,00312 | 1215,73 | 6,08 | |
| 4,00 | 0,00312 | 1246,90 | 6,23 | |
| 4,10 | 0,00312 | 1278,07 | 6,39 | |
| 4,20 | 0,00312 | 1309,24 | 6,55 | |
| 4,30 | 0,00312 | 1340,42 | 6,70 | |
| 4,40 | 0,00312 | 1371,59 | 6,86 | |
| 4,50 | 0,00312 | 1402,76 | 7,01 | 1400 |

V tabulce 9.1 je přiřazena hodnotě nastaveného tlaku odpovídající vyvinutá síla pneumomotoru. V dalším sloupci je k této vykonané síle přiřazena maximální odchylka odpovídající přesnosti $\pm 0,5\%$.

Kontrolu nastavení regulátoru je třeba provést na manometru, který je umístěný bezprostředně u vstupu do pneumomotoru. Pokud bychom se řídili údaji z manometru v tělese regulátoru, zjistíme, že tlak v pneumomotoru je menší o tlakové ztráty ve vedení, spojovacího šroubení a škrtícího ventilu.

Maximální vypočtená odchylka vyvinuté síly při tlaku 4,5 bar je 7,01 N. Vidíme, že nebyla překročena tolerance 30 N v celém rozsahu využitého tlaku.

10 Technický popis pneumatického zařízení

Viz. přiložený výkres 2009-01-JK

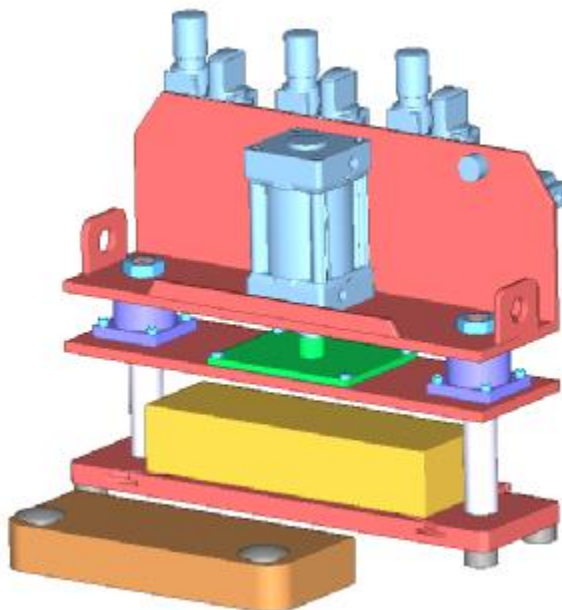
Sestavil jsem návrh pneumatického zařízení, podle zadání, lisovat víko do krabice pojistkové skříně.

Konstrukce lisu je navržena jako sloupová, tzn. že dva ocelové sloupky spolu se spodní základovou deskou a horní deskou tvoří rám lisu. Oba sloupky zároveň slouží jako lineární vedení beranu. Ten je v místech průchodu vodících tyčí vybaven kuličkovými pouzdry přírubového provedení, které jistí trvale přesnou vodorovnou polohu v průběhu lisování. Vodící tyče jsou z obou stran upraveny osazením a závitem M36 a ukotveny v základové desce pomocí matic. Spodní základová deska má vyfrézované dvě T-drážky pro uchycení středících opěrných lišt. Lišty slouží jako opěrné prvky k přesnému usazení lisované skříně.

Na horní rámovou desku je z vrchu přišroubovaný pneumomotor, který vyvíjí tlak na střed beranu. Ocelový plech o síle 3 mm kolmo navařený na horní desku slouží jako její podélná výztuha a tvoří panel pro uchycení pneumatických prvků. Na zadní straně panelu jsou rozmístěné regulátory tlaku, filtr, rozvaděče a ventily. Celková hmotnost lisovacího přípravku je spočítaná na 65 kg, proto jsou na vrchní desce navařené oka kvůli manipulaci.

Jedinou součástí, která není pevně s lisem spojena, je panel dvouručního ovládání. Ten se nachází v místě obsluhy lisu a je s pneumatickým obvodem propojený plastovou hadicí.

Všechny součásti lisu jsou rozepsány v přiloženém kusovníku.



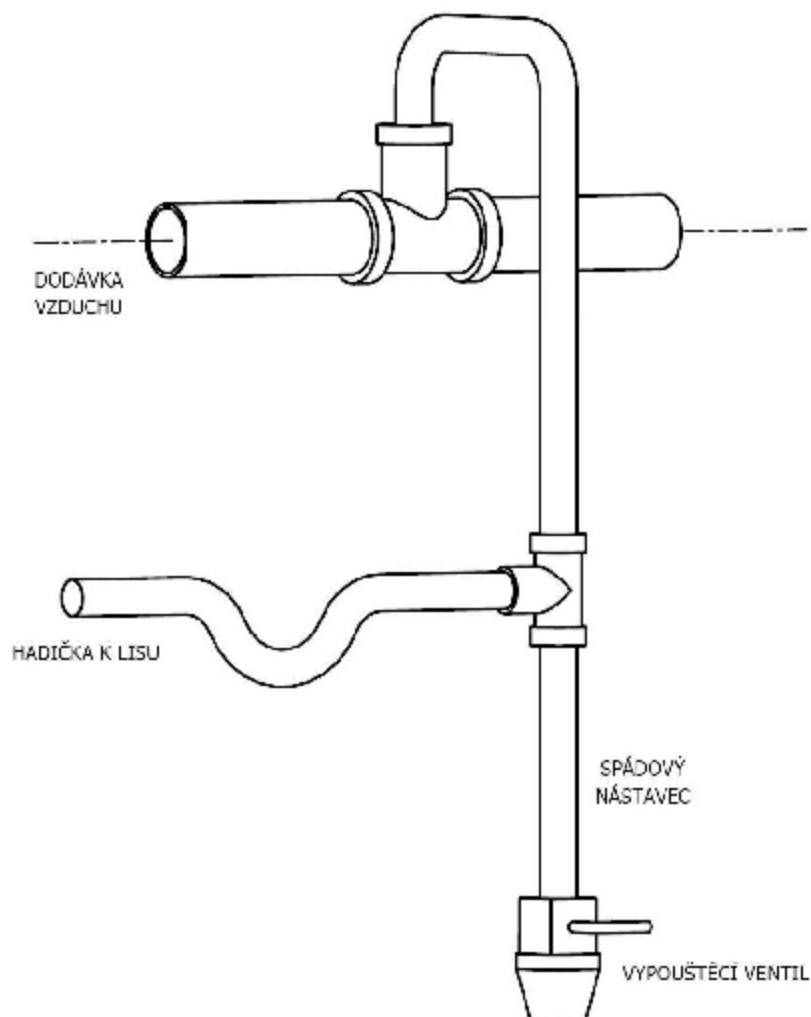
Obr.10.1 Prostorový model lisu (VariCAD)

11 Pokyny pro provoz a údržbu zařízení

11.1 Montáž a uvedení zařízení do provozu

Pneumatické prvky vyžadují pro svůj spolehlivý provoz správnou montáž a přesné dodržování provozních pokynů. Tyto pokyny jsou všeobecně vázány platnými normami ČSN 10 9004 a ČSN 10 9005 (Pneumatické mechanismy. Všeobecné technické požadavky.) a montážními předpisy firem.

Správná dodávka vzduchu je velmi důležitá pro činnost a obsluhu lisu. Přimazávat stlačený vzduch v našem případě není zapotřebí, protože rozvaděče i pneumomotor jsou konstruovány se samomaznými třecími plochami. Níže uvedený způsob připojení na tlakový vzduch pomáhá zabránit vnikání vody a kompresorového oleje do lisu.



Obr.11.1 Dodávka stlačeného vzduchu

Požadavky pro uvedení obvodu do provozu:

- Suchý, filtrovaný vzduch (podle ČSN ISO 8573-1, třídy 3) tomu odpovídá filtr 5 μm , rosný bod $+3^{\circ}\text{C}$ (provoz v hale) a maximální koncentrace oleje $1,0 \text{ mg/m}^3$ což poskytuje standardní kompresor.
- Seznámení se s průvodní dokumentací jednotlivých prvků a schematickým výkresem
- Kontrola použitých prvků, prověření vnější i vnitřní čistoty
- Po celou dobu montáže je třeba udržovat čistotu pracovního prostředí, pomůcek a pneumatických prvků
- Montují-li se bistabilní 5/2 a 5/3 rozvaděče na zařízení, které může být zdrojem vibrací, pak je nutné, aby tyto vibrace působily kolmo na osu šoupátka rozvaděče.
- Kontrola utažení všech spojovacích prvků
- Dbát na správnou montáž hadic: hadice musí být uříznutá kolmo a zastrčená do nástrčné spojky až na doraz
- Tolerance vnějšího průměru plastové hadice je max. $\pm 0,1 \text{ mm}$ pro nylon
- Dodržovat předepsaný poloměr ohybu hadic
- Tlumiče hluku montovat tak, aby osy jejich vývodů směřovali dolů
- Nastavení škrtících ventilů postupným otevíráním průtoku stlačeného vzduchu
- Škrtící ventil tlumení koncové polohy pneumomotoru je optimálně nastaven již z výroby. Otočením seřizovacího šroubu ve směru hodinových ručiček snížíme účinek tlumení.

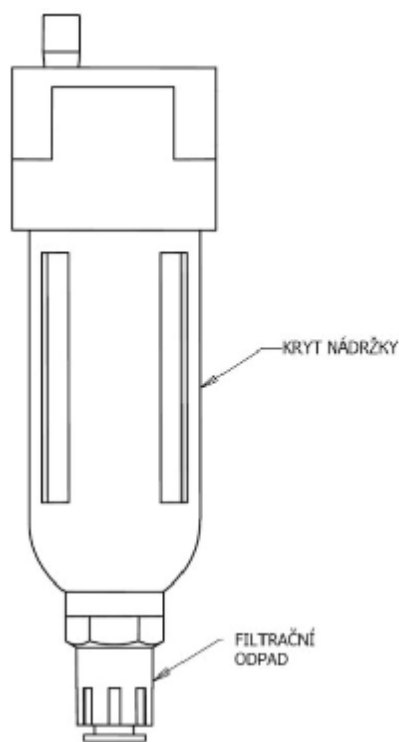
11.2 Údržba pneumatického obvodu

Kontrola a údržba pneumatického zařízení se smí provést až po ověření, že je odpojeno od zdroje stlačeného vzduchu a bezpečně zajištěno v základní poloze. Mají-li se některé prvky demontovat, je důležité obvod nejprve odvzdušnit.

Montáž, uvedení do provozu a údržbu strojů a zařízení s pneumatickými pohony smí provádět pouze osoby k tomu určené, které mají potřebné znalosti a zkušenosti.

- Údržba obvodu spočívá především v dodržování čistoty všech prvků a v péči o jednotku pro úpravu vzduchu: výměna filtračních vložek, odpouštění kondenzátu (Obr. 12.2)

Pneumomotor nevyžaduje speciální údržbu. Montážní poloha je libovolná, provozní médium je stlačený vzduch o tlaku do 1 MPa a provozní teplota udávaná výrobcem -20 až 80 °C. Případné nečistoty na pístnici je třeba setřít neabrazivní tkaninou.



Obr.12.2 Filtreační nádoba

12 Bezpečnost při práci s lisy

Lisy jsou obecně lidskému zdraví nebezpečné stroje, které vždy mohou obsluhu stroje nebo i nepovolaným osobám způsobit velmi vážný úraz (rozdrcení končetiny, amputaci končetiny ba i smrt). Z tohoto důvodu bývají lisy a buchary vybaveny různými typy bezpečnostních zařízení, která mají za úkol především zabránit úrazu obsluhy stroje (či úrazu dalších osob nacházejících se v okolí stroje).

Může se jednat např. o tato opatření, která lze navíc vhodným způsobem vzájemně kombinovat:

Prostá mechanická zábrana - do pracovní části stroje nelze nijak vložit ruku či nohu (stroj pak může být spínán rychle za sebou nohou), mechanická zábrana může být navíc doplněna elektromechanickým zámekem, který elektricky zamyká mechanickou zábranu a zároveň tím odmyká ovládání stroje, což způsobuje, že stroj nelze vůbec nijak spustit bez řádného zafixování příslušné mechanické zábrany

- Lis je vybaven dvojitým spínáním - stroj lze spustit pouze jednou a to pouze současným stlačením dvou různých spínačů (ovladačů stroje), které jsou od sebe vhodně vzdáleny (obvykle tak 80 až 100 centimetrů). Toto elektrické zapojení nutí obsluhu lisu spínat stroj oběma rukama současně a není pak možné tutéž ruku strčit do pracovní části stroje (mezi jeho čelisti).
- Elektronické zabezpečení - spínání lisu se děje výhradně z elektronicky ovládacího panelu zadáním bezpečnostního kódu nebo i vložením bezpečnostní karty v bezpečné vzdálenosti od stroje

Bezpečnostní opatření:

- Stroje a zařízení s pneumatickými pohony smí obsluhovat pouze osoba k tomu určená, po zaškolení. Stlačený vzduch může být nebezpečný pro osoby, které nejsou seznámeny se zásadami bezpečné práce a s předpisy pro obsluhu stroje.
- Při práci s lisem nebo údržbě je doporučeno používat ochranné brýle
- Není bezpečné používat odštěpené, popraskané či zničené příslušenství a nástroje
- Je doporučeno pravidelně vyměňovat vzduchovou hadici a příslušenství kvůli opotřebení
- Není bezpečné používat lis na jiné činnosti, než pro jeho záměrné účely
- Není bezpečné upravovat jakkoli tento lis

13 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout pneumatický lis s možností nastavení síly pro tři typy výrobku. V úvodu jsem popsal základní vlastnosti pneumatických mechanismů, jejich využití, výhody a nevýhody. Následuje rozvaha alternativních způsobů řešení lisu.

Popsal jsem vybranou variantu zvoleného řešení konstrukce lisu a provedl základní pevnostní výpočty. Další odstavce jsou věnovány návrhům pneumatického obvodu. Uvedl jsem dvě varianty včetně pneumatického schéma, modelového zapojení a vysvětlil jejich nedostatky a přednosti. Sestavil jsem specifikaci pneumatických prvků u druhé varianty řešení, jež je považovaná za konečnou. Následují výpočty tlaků, jež jsou nutné nastavit regulátorem a kontrola, zda přesnost regulátoru vyhovuje zadané podmínce.

V závěru práce uvádím technický popis zařízení, pokyny pro provoz a údržbu zařízení a bezpečnou práci s lisy.

14 Seznam příloh

- | | | | |
|----|--------------------------------------|-------------|------------|
| 1. | Dispoziční výkres pneumatického lisu | č. výkresu: | 2009-01-JK |
| 2. | Kusovník | | |
| 3. | Schéma pneumatického obvodu | č. výkresu: | 2009-02-JK |

15 Seznam použité literatury:

- [1] KOPÁČEK, J.; ŽÁČEK, M. *Pneumatická zařízení strojů*. Skriptum Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003, 94 s. ISBN 80-248-0442-5
- [2] KOPÁČEK, J.; *Pneumatické mechanismy, Díl I. Pneumatické prvky a systémy*. Skriptum Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996, 267 s. ISBN 80-7078-306-0
- [3] LENERT, J. *Pružnost a pevnost I*. Skriptum Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005, 142 s. ISBN 80-248-0113-2
- [4] PIVOŇKA, J. a kol. *Tekutinové mechanismy*. Praha: SNTL Praha, 1987. 624 s.
- [5] JAKUBASCHKE, O. *Grundlagen der Pneumatik*. Mainz: KRAUSSKOPF, 1987. 266 s. ISBN 3-7830-0135-8
- [6] SMC Training *Stlačený vzduch a jeho využití*. 2. Vyd. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 344 s.
- [7] Přehled výrobků a katalogy firem FESTO, SMC, Parker
- [8] DRASTÍK, Fr. a kolektiv. *Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu*. Montanex, a.s. Ostrava, 1995. 563 s.
- [9] Vogt AG Verbindungstechnik. Dostupné na WWW: <<http://www.vogt.ch>>.
- [10] LONG S.A. – Z.I. des Grives. Dostupné na WWW: <<http://www.emgpresses.com>>.
- [11] G.P.A. ITALIANA S.p.A. Dostupné na WWW: <<http://www.gpa-automation.com>>.
- [12] Haberkorn Ulmer s.r.o. Dostupné na WWW: <<http://www.haberkorn.cz>>.
- [13] MATIS s.r.o. Dostupné na WWW: <<http://www.matis.cz>>.